

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки (специальность) Материаловедение и технологии материалов

Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Седиментационная и агрегативная устойчивость наночастиц оксида железа в водных суспензиях

661.87:539.12-022.532

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б62	Чжао Чжэнчуань		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Годымчук. А. Ю	к.т.н.		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМ ИШНПТ	Годымчук. А. Ю	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук И.В.	к.т.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Сечин А.И.	д.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Овечкин Б.Б.	к.т.н., доцент		

Томск – 2020 г.

Результаты обучения по направлению 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
P1	Применять основные положения и методы гуманитарных наук при решении социально-общественных и профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-4), <i>CDIO Syllabus</i> (2.4, 2.5, 4.1, 4.2), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Использовать современное информационное пространство при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ПК-1, ПК-2), <i>CDIO Syllabus</i> (2.2, 4.2), Критерий 5 АИОР (п. 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Разрабатывать, оформлять и использовать техническую документацию, включая нормативные документы по вопросам интеллектуальной собственности в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ПК-2, ПК-8, ПК-11), <i>CDIO Syllabus</i> (3.2, 4.4, 4.8)
P4	Проводить элементарный экономический анализ ресурсов, технологий и производств при решении профессиональных задач в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ОК-3, ПК-18), <i>CDIO Syllabus</i> (4.2, 4.3, 4.7, 4.8)
P5	Эффективно работать в коллективе на основе принципов толерантности, использовать устную и письменную коммуникации на родном и иностранном языках в мультикультурной среде	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6), <i>CDIO Syllabus</i> (2.4, 3.1, 3.2, 3.3), Критерий 5 АИОР (п. 2.9, 2.11), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Эффективно выполнять трудовые функции по реализации высокотехнологичных производств материалов и изделий	Требования ФГОС (ПК-3, 4, 6, 7, 11, ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-4), <i>CDIO Syllabus</i> (1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2, 2.4, 4.4), Критерий 5 АИОР (п. 2.3, п. 2.8), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Проводить комплексную диагностику материалов, процессов и изделий с использованием технических средств измерений, испытательного и производственного оборудования	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-10, ПК-14), <i>CDIO Syllabus</i> (4.4, 4.5), Критерий 5 АИОР (п. 2.4, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Готовность к мотивированному саморазвитию, самоорганизации и обучению для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ОК-7), <i>CDIO Syllabus</i> (2.4), Критерий 5 АИОР (п. 2.14), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Успешно использовать методы и приемы организации труда, обеспечивающие эффективное, экологически, социально и технически безопасное производство	Требования ФГОС (ОК-8, ОК-9, ПК-12, ОПК-5), <i>CDIO Syllabus</i> (4.1, 4.3, 4.4, 4.6, 2.4.), Критерий 5 АИОР (п. 2.12), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Использовать принципы производственного менеджмента и управления персоналом в производственной деятельности в области материаловедения и технологии материалов	Требования ФГОС (ПК-19), <i>CDIO Syllabus</i> (4.3, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки – 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Отделение (НОЦ) – Отделение материаловедения

УТВЕРЖДЮ:
 Руководитель ООП
 Лямина Г.В.

(Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

бакалаврской работы

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
154Б62	Чжао Чжэнчуань

Тема работы:

Седиментационная и агрегативная устойчивость наночастиц оксида железа в водных суспензиях	
Утверждена приказом директора ИШНПТ	Приказ №59-87/с от 28.02.220

Срок сдачи студентом выполненной работы:	02.06.2020г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1. Источники литературы: базы данных www.sciencedirect.com , www.elibrary.ru , www.scopus.com , www.elsevierscience.ru . 2. Оборудование и лабораторный инвентарь НОИЦ «Наноматериалы и нанотехнологии» отделения материаловедения Томского политехнического университета. 3. Объекты исследования: нанопорошки оксида железа 4. Требования к продукту: зависимости влияния размера и формы наночастиц и ультразвуковой обработки на дисперсионные и седиментационные свойства наночастиц оксида железа в водных суспензиях.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. провести обзор учебной и научной литературы по классификации, применению, получению и свойствам наночастиц оксида железа; 2. определить морфологию наночастиц с помощью сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии и метода низкотемпературной адсорбции азота;

	3. определить влияние длительности ультразвуковой обработки, размера и формы наночастиц на седиментационные и дисперсионные свойства наночастиц с помощью методов спектрофотометрии и лазерной дифракции.
Перечень графического материала	Микрофотографии нанопорошков, кривые распределения частиц по размерам, графики изменения седиментационных и дисперсионных свойств наночастиц в водных суспензиях.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кашук И.В.
Социальная ответственность	Сечин А.И.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	13.04.2020 г.
--	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОМ	Годымчук А.Ю.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б62	Чжао Чжэнчуань		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
154Б62	Чжао Чжэнчуань

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	22.03.02 Материаловедение и технологии материалов

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Работа с информацией, представленной в российских и зарубежных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения 2. Планирование и формирование бюджета научных исследований 3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	1. Проведение сегментации рынка, выполнение анализа конкурентных технических решений, выполнение SWOT-анализа, определение альтернатив выполнения НИ 2. Расчет бюджета научного исследования 3. Оценка сравнительной эффективности вариантов исследования, выбор оптимального варианта
--	--

Перечень графического материала

1. Карта сегментации рынка
2. Матрица SWOT
3. Календарный план-график проведения НИОКР по теме
4. Таблицы

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	13.04.2020 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Кашук И.В.	к.т.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б62	Чжао Чжэнчуань		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
154Б62	Чжао Чжэнчуань

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	ОМ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	22.03.02 Материаловедение и технологии материалов

Тема ВКР:

Седиментационная и агрегативная устойчивость наночастиц оксида железа в водных суспензиях	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект: наночастицы оксида железа Область применения: «мокрые» методы диагностики наночастиц
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Трудовой кодекс Российской Федерации ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	1. Отклонение показателей микроклимата. 2. Превышение уровня шума. 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны. 4. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека
3. Экологическая безопасность:	Анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы). Анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы).
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Авария, взрыв, пожар

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	13.04.2020 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Сечин А.И.	д.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
154Б62	Чжао Чжэнчуань		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа – Инженерная школа новых производственных технологий

Направление подготовки – 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»

Отделение (НОЦ) – Отделение материаловедения

Уровень образования – Бакалавриат

Период выполнения – Осенний, весенний семестры 2019/2020 учебного года

Форма представления работы:

бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН

выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.03.2020	1. Литературный обзор	20
15.04.2020	2. Экспериментальная часть	20
15.05.2020	3. Обсуждение результатов и оформление работы	35
10.05.2020	Финансовый менеджмент	15
10.05.2020	Социальная ответственность	10

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОМ	Годымчук А.Ю.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Руководитель ООП	Овечкин Б.Б.	к.т.н., доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 67 страницы, 17 рисунков, 20 таблиц и 65 источников.

Ключевые слова: наночастицы оксида железа, ультразвуковая обработка, седиментация, агрегация, лазерная дифракция, водная суспензия.

Объекты исследования: наночастицы оксида железа.

Целью выпускной квалификационной работы является определение влияние ультразвуковой обработки водных суспензий на дисперсионные и седиментационные свойства наночастиц гематита разного размера и формы.

В процессе исследования морфологический анализ промышленных наночастиц оксида железа проведен с помощью просвечивающей и электронной микроскопии и метода низкотемпературной адсорбции азота. В работе определяли влияние длительности ультразвуковой обработки на дисперсионный состав и скорость осаждения наночастиц в водной суспензии с заданной концентрацией частиц. Скорость осаждения определяли по изменению коэффициента светопропускания, а дисперсионные свойства определяли с помощью метода лазерной дифракции.

В результате исследования показывают, что ультразвук может эффективно уменьшить эффект агрегации и скорость осаждения суспензии. Размер частиц влияет на скорость осаждения и эффект агрегации.

Область применения: суспензии наночастиц Fe_2O_3 могут быть использованы для иммунологических испытаний, в качестве добавок при крекинге углеводородов, носителей лекарств, а также для очистки воды.

Экономическая эффективность/значимость работы: результаты работы предлагают оптимальные условия приготовления стабильной суспензии наночастиц оксида железа путем ультразвуковой обработки.

В будущем планируется подробно изучить, как долго ультразвуковая волна может получить наиболее стабильную водную суспензию, а также изучить размер частиц, полученных из наиболее стабильной суспензии.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	11
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	12
1.1. Наночастицы.....	12
<i>1.1.1 Определение и виды наночастиц.....</i>	<i>12</i>
<i>1.1.2 Получение наночастиц (оксид железа)</i>	<i>13</i>
<i>1.1.3 Применение наночастиц оксида железа</i>	<i>15</i>
1.2. Дисперсные системы	16
<i>1.2.1. Определение и виды дисперсных систем.....</i>	<i>16</i>
<i>1.2.2. Агрегация дисперсных систем.....</i>	<i>17</i>
<i>1.2.3. Агрегация и седиментация наночастиц в суспензиях</i>	<i>18</i>
1.3 Постановка задачи исследования	19
ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	21
2.1. Объекты исследования	21
2.2. Исследование морфологии наночастиц.....	21
<i>2.2.1. Электронная микроскопия</i>	<i>21</i>
<i>2.2.2. Метод БЭТ.....</i>	<i>22</i>
2.3. Исследование агрегативных свойств наночастиц в суспензиях	22
<i>2.3.1. Приготовление суспензии наночастиц</i>	<i>22</i>
<i>2.3.2. Исследование седиментационных свойств суспензий</i>	<i>23</i>
<i>2.3.3. Исследование дисперсионных свойств суспензий.....</i>	<i>23</i>
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.....	24
3.1 Морфология исследуемых наночастиц.....	24
3.2. Дисперсионные и седиментационные свойства частиц в суспензиях...	26
<i>3.2.1 Влияние УЗ обработки на размер частиц и агрегатов</i>	<i>26</i>
<i>3.2.2 Влияние времени УЗ обработки на седиментационные свойства</i>	<i>26</i>
<i>3.2.3 Влияние времени УЗ обработки на дисперсионные свойства.....</i>	<i>27</i>
<i>3.2.4 Влияние размера частиц на седиментационные свойства</i>	<i>28</i>
<i>3.2.5 Влияние формы частиц на седиментационные свойства.....</i>	<i>28</i>
3.3. Выводы.....	29

ГЛАВА	4. ФИНАНСОВЫЙ	МЕНЕДЖМЕНТ,
РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	30	
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	30	
4.1.1 Анализ конкурентных технических решений	30	
4.1.2 SWOT-анализ.....	32	
4.2 Планирование научно-исследовательских работ.....	34	
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	34	
4.2.2 Бюджет научно-технического исследования	37	
4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	42	
4.4. Выводы по разделу	44	
ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	46	
5.1 Анализ выявленных вредных факторов.....	47	
5.1.1 Микроклимат производственной среды.....	49	
5.1.2 Анализ выявленных опасных факторов	50	
5.1.3 Анализ показателей шума	51	
5.1.4 Анализ освещенности рабочей зоны	52	
5.2 Охрана окружающей среды	54	
5.2.1 Защита в чрезвычайных ситуациях.....	55	
5.2.2 Анализ электробезопасности	56	
5.2.3 Анализ пожарной безопасности.....	56	
5.3 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	57	
5.4 Выводы по разделу.....	58	
6. СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА	60	
7. СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	61	

ВВЕДЕНИЕ

Наночастицы оксида железа имеют большие перспективы применения в медицине. Например, коллоидные оксиды железа могут использоваться в качестве контрастных агентов магнитно-резонансной томографии [1] [2] и при доставке лекарств [3]. Чем больше применений, тем больше производство и тем больше будет источников выделения наночастиц в окружающую среду. При этом воздействие наночастиц на организмы и растения может быть как положительным [4], так и отрицательным [5].

В настоящее время методики определения токсичности требуют разработки устойчивых гидрозолей наночастиц со стабильными седиментационной и дисперсионными свойствами. При этом для поддержания дисперсности чтобы исключить добавление химических веществ, используют внешнее физическое воздействие – перемешивание и ультразвуковую обработку [6]. Есть данные по дисперсионным и седиментационным свойства наночастиц оксида железа оценке физико-химического поведения наночастиц TiO_2 в водных средах [7]. Однако, данных по устойчивости оксида железа в водных растворах при внешнем воздействии на суспензию в литературе отсутствуют.

Целью выпускной квалификационной работы является определение влияния ультразвуковой обработки водных суспензий на дисперсионные и седиментационные свойства наночастиц гематита разных размера и формы.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Наночастицы

1.1.1 Определение и виды наночастиц

Наночастица – изолированный твёрдофазный объект, имеющий отчётливо выраженную границу с окружающей средой, размеры которого во всех трёх измерениях составляют от 1 до 100 нм [8]. Наночастицы – один из наиболее общих терминов для обозначения изолированных ультрадисперсных объектов, во многом дублирующий ранее известные термины (коллоидные частицы, ультрадисперсные частицы), но отличающийся от них чётко определёнными размерными границами. Твёрдые частицы размером менее 1 нм обычно относят к кластерам, более 100 нм – к субмикронным частицам.

В то же время, в биомедицинских нанотехнологиях наночастицами зачастую условно называют и объекты диаметром до нескольких сотен нанометров, малый размер которых также играет значительную роль в их свойствах и применении [9].

Классификация наночастиц обычно рассматривается с точки зрения разного размера, размерности, состава и форма. По размеру наночастицы можно классифицировать как ультрадисперсные системы (1–50 нм), высокодисперсные системы (50–100 нм) или осаждаемые частицы (100–1000 нм). Осаждаемые частицы состоят из крупных частиц или частиц фрактального типа [10]. Например, водные дисперсии наночастиц Fe_3O_4 [11]

По составу наночастицы различают углеродные (углеродная нанотрубки, фуллерены, графен), металлические (наночастицы Ag, Fe, Al, Au), полимерные (конъюгированные полимерные наночастицы) [12-14].

Наночастицы оксида железа тоже различают по составу. С кислородом железо образует следующие соединения: гематит ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) маггемит ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), магнетит (Fe_3O_4), гетит ($\alpha\text{-FeOOH}$), магнитная структура гетита ($\alpha\text{-FeOOH}$) была определена мессбауэровской и нейтронной порошковой техникой с использованием как природных, так и синтетических образцов [15].

1.1.2 Получение наночастиц (оксид железа)

Для получения наночастиц оксида железа в основном используют три метода: жидкофазный, золь-гель и гидротермальный методы.

Жидкофазные методы, как правило, просты, недороги и обеспечивают хороший выход продуктов [16]. Например, сферические частицы Fe_3O_4 со средним диаметром от 30 до 100 нм могут быть получены путем соосаждения из раствора $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$ [17]. Фаза и размер частиц зависят от концентрации катионов, присутствующих противоионов и pH раствора [18,19].

Из-за большого отношения площади поверхности к объему наночастицы, образующиеся при соосаждении в жидкой фазе, имеют тенденцию к агрегации [19], поэтому в растворы добавляют анионные поверхностно-активные вещества в качестве диспергирующих агентов [19]. Например, для стабилизации магнитных жидкостей добавляют олеиновую или додекановую кислоты [20] и других насыщенных и ненасыщенных жирных кислот [21].

Ученые активно синтезируют наночастицы Fe_2O_3 термическим разложением соли $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ в присутствии COO -групп. Так были получены частицы маггемита ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) при 250-300°C и гематита ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) при 400-500°C [22].

Золь-гель методы обычно относятся к гидролизу и конденсации алкоксидов металлов или предшественников алкоксидов, что приводит к дисперсии частиц оксида в «золе». «Золь» затем сушат или «превращают в гель» удалением растворителя или химической реакцией. Используемый растворитель обычно представляет собой воду, но предшественники также могут быть гидролизованы кислотой или основанием. Основной катализ индуцирует образование коллоидного геля, тогда как кислотный катализ дает полимерную форму геля [23]. Скорость гидролиза и конденсации являются важными параметрами, которые влияют на свойства конечных продуктов. Меньшие размеры частиц получают при более медленных и более контролируемых скоростях гидролиза. Размер частиц также зависит от состава раствора, pH и температуры [24]. Магнитное упорядочение в золь-гелевой системе зависит от образующихся фаз

и объемной доли частиц и очень чувствительно к распределению частиц по размерам и дисперсии [24]. В случае нанокомпозитов, полученных из гелей, структурные параметры и пористость материала определяются скоростью гидролиза и конденсации предшественников геля, а также другими окислительно-восстановительными реакциями, которые происходят во время гелеобразования и последующих стадий термообработки [24]. Например, были изготовлены нанокомпозиты магнетита и диоксида кремния, путем пропитки влажных гелей из диоксида кремния безводными предшественниками Fe(II) с последующей сверхкритической сушкой гелей этанолом [25].

Недостатки золь-гель-методов включают загрязнение побочными продуктами реакций, а также необходимость последующей обработки продуктов.

Гидротермальные методы высокого давления основаны на способности воды при повышенных давлениях и температурах гидролизовать и обезвоживать соли металлов, а также очень низкой растворимости образующихся оксидов металлов в воде при этих условиях, приводящих к пересыщению [24]. Повышенные температуры способствуют высокой скорости дегидратации, как и высокая диффузионная способность реагентов в воде в этих условиях [26]. В этом процессе может быть достигнуто очень высокое пересыщение из-за очень низкой растворимости гидроксидов и оксидов металлов, так что получаются очень мелкие кристаллы [26]. Такие параметры, как давление, температура, время реакции и система предшественник-продукт, могут быть настроены для поддержания высоких скоростей нуклеации и для контроля роста [27]. Процесс экологически безопасен и универсален, поскольку он не включает в себя какие-либо органические растворители или последующую обработку, такую как прокаливание [28].

Так, гидротермальным разложением FeSO_4 с добавлением мочевины были получены наночастицы Fe_3O_4 с размером 50 нм [29]. Гидротермальный синтез оксидов железа также может быть выполнен *in situ* внутри пористых структур, как это сделано в работе [30], где авторы успешно осаждали гематита с размерами 16...36 нм в порах гранул активированного угля, используя

сверхкритическую воду. Гидротермальный метод также был успешно использован для синтеза наночастиц гематита размером ~ 10 нм [31] при быстром нагревании (30 сек) растворов [32].

Непрерывная гидротермальная технология предлагает множество возможностей для контроля размера частиц и морфологии, поддерживая низкие времена пребывания и эффективные процессы перемешивания.

1.1.3 Применение наночастиц оксида железа

Наночастицы оксида железа имеют большие перспективы для применения в медицине. Так, наночастицы Fe_3O_4 (5-15 нм) можно использовать в качестве контрастных агентов магнитно-резонансной томографии [33] и при доставке лекарств, как показано на примере наночастиц $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (30-100 нм) [34].

Другое применение магнитных наночастиц – гипертермия в терапии рака. Суперпарамагнитные магнитные наночастицы (Fe_3O_4 , 10 нм) при воздействии переменного магнитного поля можно использовать для нагревания опухолевых клеток до 42°C , критическую для нормальной ткани [35].

Наночастицы Fe_3O_4 (10-20 нм) используются как добавки в синтетических пигментах в красках, керамике и фарфоре [36], потому что они отображают диапазон цветов с чистыми оттенками и высокой тонировкой. Они также чрезвычайно стабильны и очень устойчивы к кислотам и щелочам. Пигменты на основе гематита – красные, пигменты на основе маггемита – коричневые, а пигменты на основе магнетита – черные [32]. Прозрачные желтые пигменты на основе гетита могут быть превращены в прозрачные красные пигменты гематита при прокаливании при 500°C [37]. Эти пигменты широко используются в водоотталкивающих пятнах для дерева, поскольку они позволяют увидеть древесные зерна, в то же время обеспечивая защиту от вредного воздействия солнечных лучей. Пигменты из магнетита также используются в устройствах распознавания символов магнитными чернилами, а суперпарамагнитные частицы магнетита используются в металлографии для выявления дефектов в двигателях [38].

Наночастицы оксида железа также используют для диагностики и лечения заболеваний, как показано на примере наночастиц Fe_3O_4 (10 нм) [39], Fe_3O_4 (3-15 нм) [40]. Суперпарамагнитные наночастицы ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, Fe_3O_4 (<10 нм)) [41] могут использоваться в качестве контрастного агента в магнитно-резонансной томографии, для векторной доставки лекарств, фотодинамической терапии и т.д.

1.2. Дисперсные системы

1.2.1. Определение и виды дисперсных систем

Дисперсные системы – гетерогенные системы из двух или большего числа фаз с сильно развитой поверхностью раздела между ними. Одна из фаз образует непрерывную дисперсионную среду, в которой распределена дисперсная фаза в виде мелких кристаллов, твердых аморфных частиц, капель или пузырьков [42].

Наиболее общая классификация дисперсных систем основана на различии в агрегатном состоянии дисперсионной среды и дисперсной фазы. Сочетания трёх видов агрегатного состояния позволяют выделить девять видов двухфазных дисперсных систем (табл. 1.1).

Таблица 1.1 Классификация дисперсных систем [43]

Обозначение Фаза/среда	Дисперсная фаза	Дисперсионная среда	Название и пример
Г/Г	Газообразная	Газообразная	не образуется
Ж/Г	Жидкая	Газообразная	Аэрозоли: туманы, облака
Т/Г	Твёрдая	Газообразная	Аэрозоли (пыли, дымы), порошки
Г/Ж	Газообразная	Жидкая	Газовые эмульсии и пены
Ж/Ж	Жидкая	Жидкая	Эмульсии: нефть, крем, молоко
Т/Ж	Твёрдая	Жидкая	Суспензии и золи: пульпа, ил, взвесь, паста
Г/Т	Газообразная	Твёрдая	Пористые тела: поролон, пемза
Ж/Т	Жидкая	Твёрдая	Капиллярные системы: жидкость в пористых телах, грунт, почва
Т/Т	Твёрдая	Твёрдая	Твёрдые гетерогенные системы: сплавы, бетон, ситаллы

По кинетическим свойствам дисперсные системы можно разделить на два класса: свободнодисперсные, в которых дисперсная фаза подвижна, связнодисперсные системы – системы с твердой дисперсионной средой, в которой частицы дисперсной фазы связаны и не могут перемещаться [43].

Также системы классифицируют по степени дисперсности. Для свободнодисперсных и связнодисперсных систем классификации по дисперсности имеют существенные отличия.

По степени раздробленности (дисперсности) свободнодисперсные системы можно разделить на три класса: ультрамикроретерогенные (коллоидные) системы (размер частиц от 10^{-7} до 10^{-5} см (от 1 до 100 нм)), микроретерогенные системы (размер частиц от 10^{-5} до 10^{-3} см (от 0,1 до 10 мкм)), грубодисперсные системы (частицы превышают размер 10^{-3} см) [44].

По степени раздробленности (дисперсности) связнодисперсные системы можно разделить на три класса: микропористые системы (размер пор до 2 нм); мезопористые системы (размер пор от 2 до 200 нм); макропористые системы (выше 200 нм).

1.2.2. Агрегация дисперсных систем

Агрегация (коагуляция, агломерация) представляет собой образование скоплений частиц дисперсной фазы в дисперсионной среде в результате дестабилизации коллоидных систем [45]. Во время этого процесса частицы, диспергированные в жидкой фазе, прилипают друг к другу и самопроизвольно образуют нерегулярные скопления частиц, хлопья или агломераты. Агрегация частиц может быть вызвана добавлением солей или других химических веществ, называемых коагулянтами [46].

Агрегация частиц может быть обратимым или необратимым процессом, как показано на примере наночастиц обратимые гели пятнистых частиц в работе [47]. Твердые агрегаты достаточно трудно диспергировать в жидкой дисперсионной среде, поэтому для агрегатов характерна седиментация (осаждение или всплытие частиц). Обратный процесс, посредством которого агломераты частиц повторно

диспергируются в виде отдельных частиц, называемый пептизацией, почти не происходит самопроизвольно.

Коллоидная дисперсия термодинамически нестабильна и всегда будет стремиться к агрегации и разделению; однако процесс может быть медленным (часы или дни), так что дисперсия кажется практически стабильной. Процессы, важные для отделения коллоидной дисперсии, представляют собой, главным образом, столкновение частиц и присоединение, приводящее к агрегации с сопровождающимся осаждением. Столкновения между частицами происходят из трех фундаментальных процессов: броуновское движение частиц приводит к перикинетической агрегации, частицы, движущиеся с разными скоростями в сдвиговом потоке, испытывают ортокинетическую (сдвиговую) агрегацию, а частицы разного размера или плотности подвергаются дифференциальному оседанию (рис. 3).). Агрегация может происходить как гомоагрегация (частицы одного типа, агрегирующие вместе), или гетероагрегация (частицы, присоединяющиеся к другим типам частиц, присутствующим) [48].

1.2.3. Агрегация и седиментация наночастиц в суспензиях

Агрегация и седиментация характеризуют поведение наночастиц в суспензии. Ранее было исследовано осаждение концентрированной суспензии полистирольных частиц диаметром 15 мкм, используя метод рассеяния света и противоток с псевдооживленным слоем. Средняя скорость седиментации сообщалась вместе с ее дисперсией и коэффициентом диффузии. Был сделан вывод, что эффекты коллективных гидродинамических взаимодействий уменьшают скорость оседания при увеличении концентрации частиц, что указывает на обратный поток жидкости вокруг оседающих частиц [49].

Ультразвуковая обработка – эффективный физический метод преодоления поверхностной энергии наночастиц, ответственных за агломерацию. В исследовании с применением наночастиц ZnO (600 нм) было отмечено, что обработка с помощью ультразвукового зонда эффективнее, чем применение ультразвуковой ванны [50]. Тем не менее, длительность процесса ультразвуковой обработки сильно влияет на дисперсионные свойства суспензий,

как было показано на примере углеродных нанотрубок [51]. При чем есть некоторая оптимальная продолжительность ультразвуковой обработки, которая зависит от различных параметров, таких как размер частиц, тип и концентрация в суспензии.

Например, в работе изменяли время и частоту ультразвука и установили, что оптимальным временем и частотой являются 40 мин и 35 Вт для получения стабильной суспензии наночастиц ZnO [52].

1.3 Постановка задачи исследования

Проведенный литературный обзор показал, что наночастицы оксида железа обладают уникальными свойствами и благодаря этому очень востребованы в разных отраслях промышленности. В настоящее время методы их синтеза постоянно растут, поэтому необходимость разработки методик их тестирования актуальна.

Показано, что при создании водных суспензий наночастицы склонны к необратимой агрегации, предотвратить которую можно применением ультразвуковой обработки. Однако в силу большого разнообразия получаемых наночастиц оксида железа и скудной информации по влиянию ультразвука на их поведения в водной среде, получение данных о поведении наночастиц в гидрозолях очень актуально.

Целью выпускной квалификационной работы является определение влияние ультразвуковой обработки водных суспензий на дисперсионные и седиментационные свойства наночастиц гематита разного размера и формы наночастиц.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

1. провести обзор учебной и научной литературы по классификации, применению, получению и свойствам наночастиц оксида железа;
2. определить морфологию наночастиц с помощью сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии и метода низкотемпературной адсорбции азота;

3. определить влияние длительности ультразвуковой обработки, размера и формы наночастиц на седиментационные и дисперсионные свойства наночастиц с помощью методов спектрофотометрии и лазерной дифракции.

ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Объекты исследования

В качестве объектов исследования были выбраны наночастицы оксида железа (Fe_2O_3) со средними размерами 18, 38, 80 и 600 нм (табл.2.1).

Таблица 2.1. Характеристика наночастиц по данным производителей

Обозначение в работе	Состав	Размер частиц, нм	Цвет порошка	Метод получения	Производитель
Fe_2O_3 -18	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, (маггемит)	18	Черный	-	Nanografi Nanotechnology, Турция
Fe_2O_3 -38		18...38	Черный		
Fe_2O_3 -80	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (гематит)	60...100	Темно-бурый	Электрический взрыв проводника	ООО «Передовые порошковые технологии», Россия
Fe_2O_3 -600	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (гематит)	600	Кирпичный	-	ТУ 6-09-5346-87

2.2. Исследование морфологии наночастиц

2.2.1. Электронная микроскопия

Размер и форму частиц исследовали с помощью методов сканирующей (СЭМ) и просвечивающей (ПЭМ) электронной микроскопии, выполненной сотрудниками межкафедральной лаборатории «Наноматериалы» НИТУ МИСиС, г.Москва. Методы основаны на принципе взаимодействия электронного пучка с исследуемым объектом.

ПЭМ-снимки получали на электронном микроскопе JEM-1400 (Jeol, Япония, разрешение – 0,24 нм, ускоряющее напряжение 120 кВ). СЭМ-снимки получали с помощью микроскопа VEGA3 (ПЭМ, Tescan, Чехия, разрешение до 8 нм, ускоряющее напряжение 30 кВ).

По данным ПЭМ и СЭМ проводили измерения размеров не менее 7 частиц с помощью программа ImageJ, строили распределение частиц по размерам и измеряли диапазон распределения и среднеарифметический размер частиц. В

качестве размера частицы использовали диаметр сферы, в которую вписывается частица.

2.2.2. Метод БЭТ

Значение удельной поверхности образцов определяли с помощью прибора Sorbi (МЕТА, Россия). В основе метода низкотемпературной адсорбции азота лежит теория Брунауэра-Эммета-Теллера (БЭТ). Температура азота при адсорбции составляла -196°C , при десорбции -100°C . Согласно методике определяли зависимость адсорбции a от давления p/p_0 при постоянной температуре (изотерма адсорбции), после чего по уравнению БЭТ вычисляли величину a_m и, затем, число молекул в монослое. Зная площадку, занимаемую одной молекулой, далее рассчитывали суммарную площадь поверхности нанопорошка.

Полученное значение удельной поверхности использовали для вычисления условного среднеповерхностного размера частиц d , допуская, что все частицы одного диаметра и их форма сферическая по экспериментальной формуле (2.1):

$$d = \frac{6}{\rho \cdot S_{\text{уд}}} \quad (2.1),$$

где d – среднеповерхностный диаметр частиц, м; ρ – плотность вещества, $\text{кг}/\text{м}^3$; $S_{\text{уд}}$ – площадь удельной поверхности порошков, $\text{м}^2/\text{кг}$.

2.3. Исследование агрегативных свойств наночастиц в суспензиях

2.3.1. Приготовление суспензии наночастиц

Сток-суспензии готовили в пластиковых баночках (с крышкой) объемом 50 мл: к 20 мг наночастиц добавляли 50 мл дистиллированной воды ($\text{pH}=6,5\pm 0,6$, проводимость 0,2 мкС, Аквадистиллятор ДЭ-4 ТЗМОИ, Тюмень Медико, Россия) при комнатной температуре $22\pm 2^{\circ}\text{C}$. Для взвешивания использовали аналитические электронные весы ALC-110d4 (Acculab, Россия, точность $\pm 0,0001$). Суспензии обрабатывали помощью ультразвука в

ультразвуковой ванне ГРАД 28-35 (Grade Technology, Россия, 55 Вт) в течение 5, 15 и 30 мин.

Сток-суспензию использовали для исследования в течение 15 минут.

Из приготовленного стока отбирали 2.5 мл для седиментационного анализа и остальное использовали для дисперсионного анализа.

2.3.2. Исследование седиментационных свойств суспензий

Седиментационные свойства суспензии (скорость осаждения частиц) оценивали частиц через изменение коэффициента светопропускания (T , %) в течение 60 мин (ΔT_{60} , %). Измерения проводили в стеклянной цилиндрической кювете с помощью спектрофотометра PD-303 (Arel, Япония) при длине волны 340 нм при комнатной температуре $22 \pm 2^\circ\text{C}$. В качестве эталона (100% пропускание) использовали дистиллированную воду.

2.3.3. Исследование дисперсионных свойств суспензий

Дисперсионный анализ включал измерение распределения частиц и агрегатов по размерам. Для проведения измерений сток-суспензию разбавляли 200 мл воды в пробоотборнике лазерного анализатора SALD-7101 (Shimadzu, Япония), снабжённого лазером 375 нм. Измерения проводили при включенном ультразвуке (40 Вт) и лопастной мешалке. Измерения проводили не менее трех раз.

Результатом измерения являлись данные для построения кривой количественного распределения частиц по размерам и расчета среднего размера частиц/агрегатов по формуле (2.2):

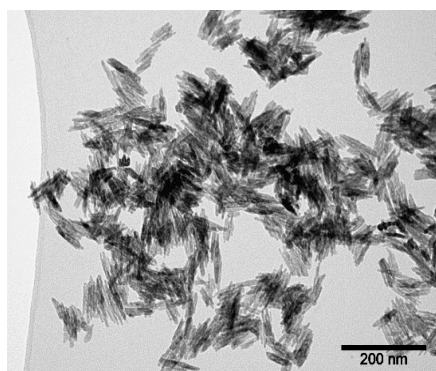
$$d_{cp} = \sum d \frac{q(\%)}{100(\%)} , \quad (2.2)$$

где d_{cp} – средний объемный диаметр частиц; d – размер частиц в дисперсии; q – дифференциальное распределение частиц в дисперсии, %.

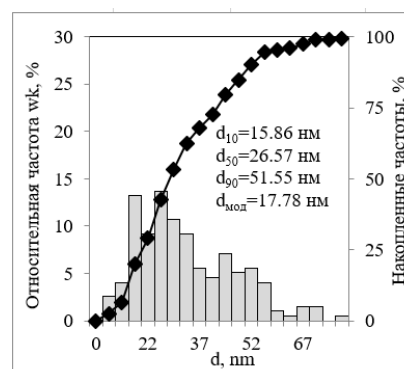
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

3.1 Морфология исследуемых наночастиц

Согласно данным электронной микроскопии, частицы Fe_2O_3 -18 имеют вытянутую форму (рис.3.1а), а остальные частицы по форме близки к сферическим (рис.3.2а, 3.3а, 3.4а). Средний размер частиц составил 33...29...227...222 нм, соответственно, для наночастиц Fe_2O_3 -18... Fe_2O_3 -38... Fe_2O_3 -100... Fe_2O_3 -600 (рис.3.1б). Данные микроскопии свидетельствуют о том, что все исследуемые частицы образуют агрегаты. Средний размер агрегатов частиц составляет $117,3 \pm 2$... $90,3 \pm 3$... $1390,9 \pm 4$... $497,5 \pm 3$ нм, соответственно для наночастиц Fe_2O_3 -18... Fe_2O_3 -38... Fe_2O_3 -100... Fe_2O_3 -600.

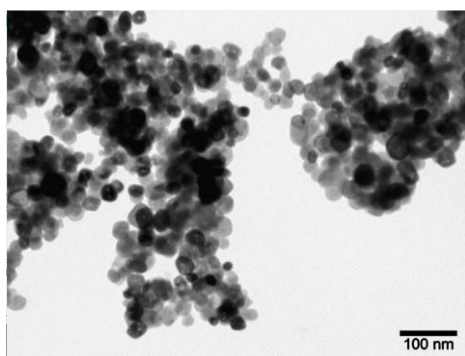


(а)

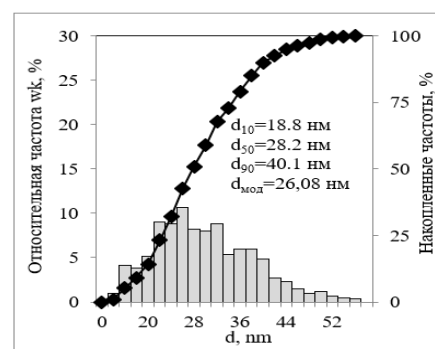


(б)

Рисунок 3.1. Микрофотография (а) и распределение частиц по размерам (б) для Fe_2O_3 -18

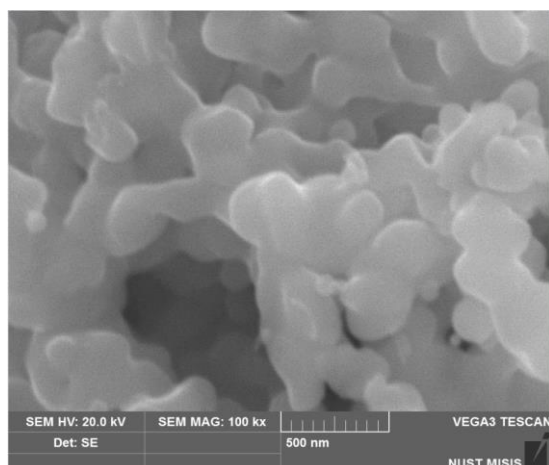


(а)

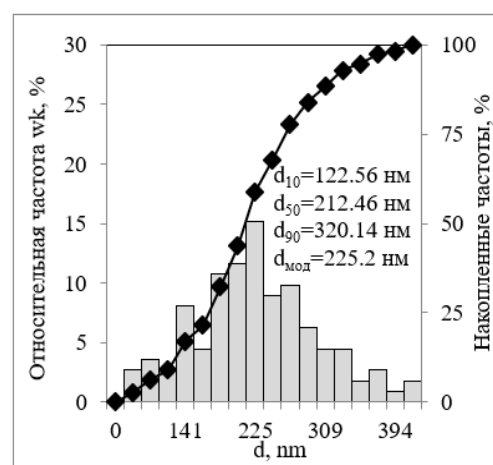


(б)

Рисунок 3.2. Микрофотография (а) и распределение частиц по размерам (б) для Fe_2O_3 -38

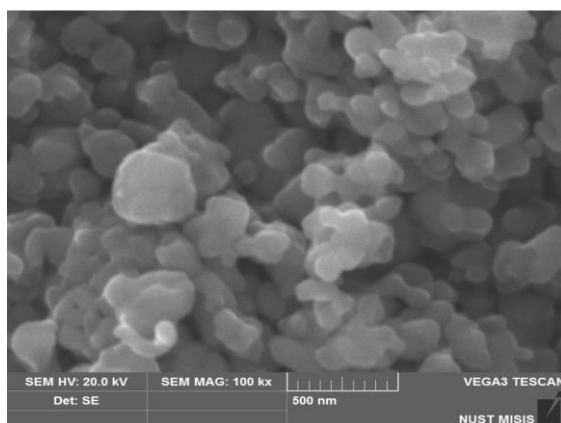


(a)

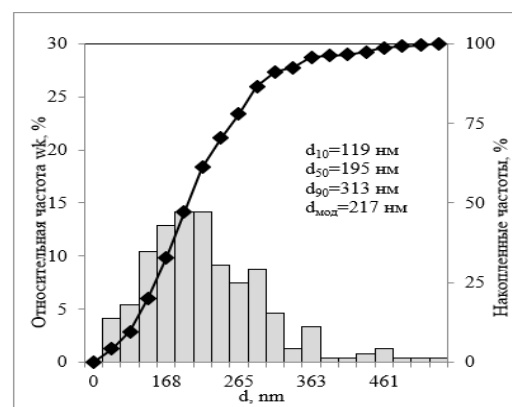


(б)

Рисунок 3.3. Микрофотография (a) и распределение частиц по размерам (б) для Fe_2O_3 -100



(a)



(б)

Рисунок 3.4. Микрофотография (a) и распределение частиц по размерам (б) для Fe_2O_3 -600

По данным метода БЭТ удельная поверхность наночастиц равна $98,53 \pm 7,18 \dots 35,26 \pm 0,07 \dots 2,50 \pm 0,05 \dots 4,81 \pm 0,05$ м²/г, а рассчитанный средне-поверхностный размер частиц составил 11,8...31,4...442...230 нм, соответственно, для наночастиц Fe_2O_3 -18... Fe_2O_3 -38... Fe_2O_3 -100... Fe_2O_3 -600.

3.2. Дисперсионные и седиментационные свойства частиц в суспензиях

3.2.1 Влияние УЗ обработки на размер частиц и агрегатов

С помощью метода лазерной дифракции на примере наночастиц Fe_2O_3 -18 показано, что при попадании в воду наночастицы образуют агрегаты с распределением 658...34 429 нм. После предварительной УЗ обработки в течение 5 мин распределение сужается до 52...220 нм (рис.3.5). Средний размер агрегатов для суспензий составил 3246 и 78 нм (рис.3.5), соответственно, без и после УЗ обработки. Таким образом, УЗ обработка очень эффективна для предотвращения агрегации частиц в воде.

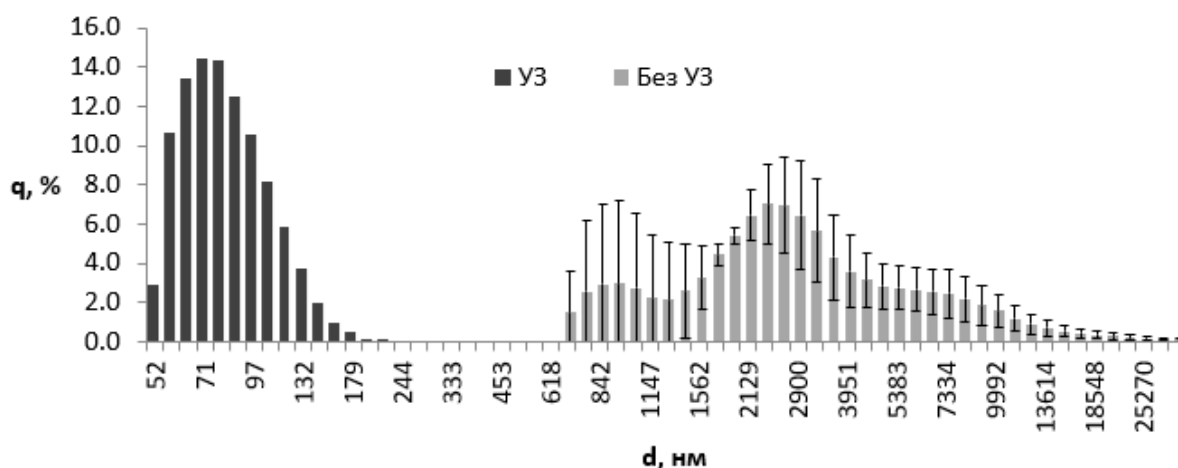
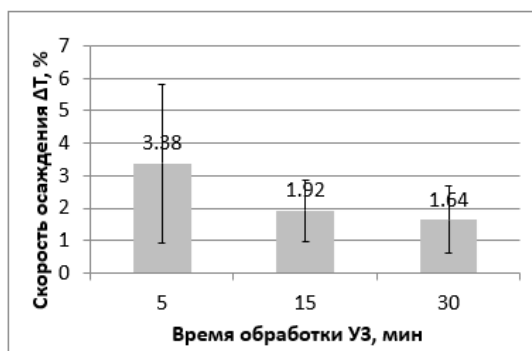


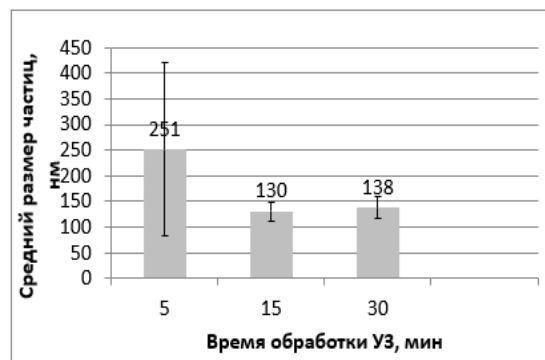
Рисунок 3.5. Распределение частиц/агрегатов по размерам без и с применением УЗ обработки.

3.2.2 Влияние времени УЗ обработки на седиментационные свойства

С помощью метода спектрофотометрии показано влияние длительности УЗ обработки на седиментационные свойства. Установлено, что чем дольше УЗ обработка, тем медленнее скорость осаждения. Так, после УЗ обработки в течение 5...15...30 мин величина ΔT_{60} составляет 3,4...1,9...1,6% (рис.3.6а).



(а)



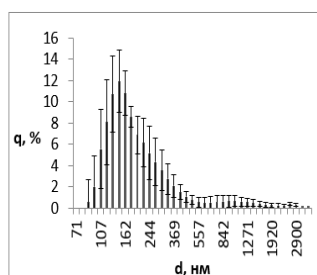
(б)

Рисунок.3.6. Влияние времени УЗ обработки на скорость осаждения ΔT_{60} и (а) средний размер d_{cp} (б). Ошибки рассчитаны из трехкратного эксперимента.

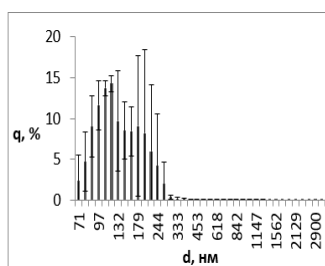
3.2.3 Влияние времени УЗ обработки на дисперсионные свойства

С помощью метода лазерной дифракции показано, что размер агрегатов уменьшается с увеличением времени ультразвука. Хотя модальный размер не меняется и составляет 119 нм, видно, что распределение частиц при увеличении времени обработки при УЗ обработке в течение 5...15...30 мин сдвигается влево и составляет, соответственно, 107...557, 71...300 и 71...271 нм (рис. 3.7).

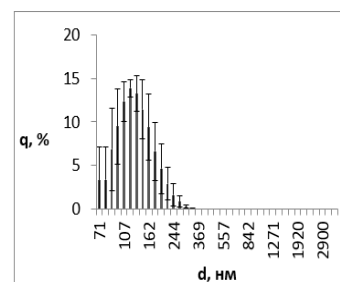
Усредненные данные показывают, что при 5 мин УЗ обработке, средний размер агрегатов составляет 251 нм, а после 15 мин обработки – 130 нм. Но более длительная обработка не приводит к значительному уменьшению размера: величина d_{cp} увеличивается в рамках ошибки (2%) до 138 нм (рис. 3.6б).



(а)



(б)



(в)

Рисунок 3.7. Влияние времени УЗ обработки на распределение частиц по размерам в течение 5 (а), 15 (б) и 30 мин (в). Ошибки рассчитаны из трехкратного эксперимента.

3.2.4 Влияние размера частиц на седиментационные свойства

Установлено, что с увеличением размера частиц скорость осаждения агрегатов меняется неоднозначно. Так, скорость осаждения частиц с >100 нм намного больше, чем для более мелких частиц: видно, что с увеличением размера в 2 раза (от 38 до 80 нм) частицы осаждаются в 30 раз быстрее. Например, величина ΔT_{60} составляет в среднем 14% для частиц с размером >100 нм по сравнению с 0,47% для частиц с размером 38 нм (рис.3.5).

Также показано, что для частиц с размером более 100 нм седиментационные свойства не сильно зависят от размера частиц: величина ΔT_{60} для Fe_2O_3 -80 и Fe_2O_3 -600 отличается в рамках ошибки – на 1,05 %.

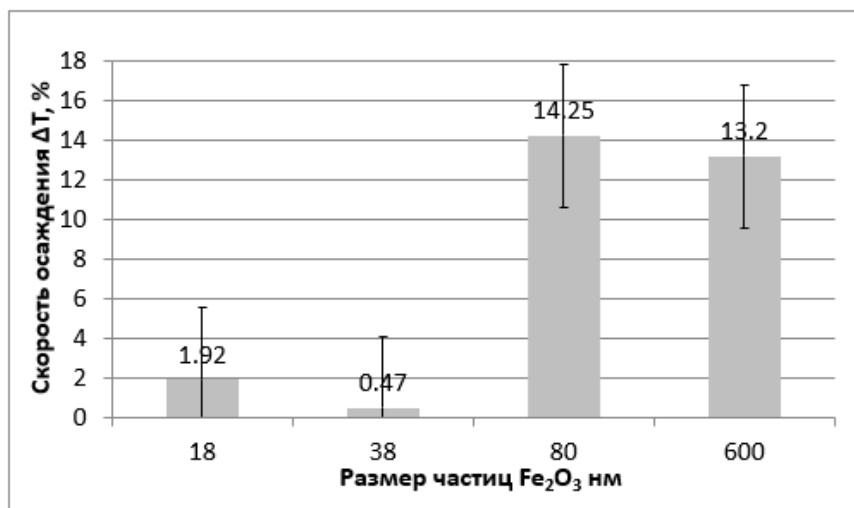


Рисунок 3.8. Влияние размера частиц на скорость осаждения ΔT_{60} . Время УЗ обработки – 15 мин. Ошибки рассчитаны на основе трехкратного эксперимента

3.2.5 Влияние формы частиц на седиментационные свойства

Для анализа влияния формы мы взяли частицы Fe_2O_3 -18 и Fe_2O_3 -38, потому что они имеют очень близкий размер (33 и 29 нм, соответственно, по данным ПЭМ), но имеют разную форму: Fe_2O_3 -18 – игольчатую, а Fe_2O_3 -38 – сферическую (рис.3.1 и 3.2). Установлено, что агрегаты игольчатых частиц осаждаются быстрее в 4 раза. По всей видимости, для частиц с более развитой

морфологией в суспензии образуются более крупные агрегаты, в результате чего на них сильнее действует сила гравитации и они быстрее осаждаются.

3.3. Выводы

Таким образом, в работе с помощью методов спектрофотометрии и лазерной дифракции установлено влияние длительности предварительной ультразвуковой обработки (55 Вт) на седиментационные и дисперсионные свойства суспензий, содержащих промышленные наночастицы Fe_2O_3 с разной формой и размерами от 18 до 600 нм. Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. На примере наночастиц Fe_2O_3 , имеющих средний размер 18 нм согласно просвечивающей электронной микроскопии (11 нм согласно БЭТ) показано, что при попадании в водные суспензии с концентрацией частиц 0.4 г/л наночастицы образуют агрегаты с размерами 3,2 мкм.

2. Установлено, что после предварительной ультразвуковой обработки размер агрегатов наночастиц Fe_2O_3 уменьшается в 40 раз: например, размер агрегатов Fe_2O_3 -18 уменьшился от 3246 до 78 нм после предварительной УЗ обработки (55 Вт) в течение 5 минут.

3. Показано, что предварительная ультразвуковая обработка водных суспензий наночастиц приводит к снижению агрегации и уменьшению скорости осаждения (ΔT_{60}): например, при УЗ обработке суспензий Fe_2O_3 -18 в течение 5...15...30 мин средний размер агрегатов составил 251...130...138 нм, а величина ΔT_{60} составляет 3,4...1,9...1,6%, соответственно.

4. Продемонстрировано, что с увеличением размера частиц от 18 до 600 нм скорость осаждения агрегатов увеличивается в 30 раз: например, величина ΔT_{60} составляет в среднем 14% для частиц с размером >100 нм по сравнению с 0,47% для частиц с размером 38 нм.

5. С применением Fe_2O_3 -18 и Fe_2O_3 -38, имеющих близкий размер (33 и 29 нм, соответственно), показано, агрегаты игольчатых частиц (Fe_2O_3 -18) осаждаются быстрее сферических (Fe_2O_3 -38) в 4 раза.

ГЛАВА 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Цель данного раздела ВКР заключается в оценке перспективности разработки и планировании финансовой и коммерческой ценности конечного продукта, предлагаемого в рамках НИ. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы: будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- оценка коммерческого потенциала разработки;
- планирование научно-исследовательской работы;
- расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Анализ конкурентных технических решений

В процесс исследования рассматривались две конкурирующие разработки:

1) Национальный институт охраны труда и здоровья. Отдел Токсикология и молекулярная биология. Директор-Джон Говард, доктор Медицинская наука. Вашингтон, Америка

2) Институт экологической медицины. Молекулярная ориентация токсикологии. Ответственное лицо - профессор Бенгт Фадил. Стокгольм, Швеция.

В таблице 4.1.1 представлено сравнение разработок-конкурентов и разработки данного НИ с точки зрения технических и экономических критериев оценки эффективности.

Таблица 4.1.1– Сравнение конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _ф	Б _{к1}	Б _{к2}	К _ф	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности пользователей	0,06	5	3	3	0,2	0,12	0,12
2. Энергоэффективность	0,13	5	4	2	0,65	0,52	0,26
3. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,09	4	1	5	0,2	0,05	0,25
4. Помехоустойчивость	0,1	5	2	3	0,4	0,16	0,24
5. Потребность в ресурсах памяти	0,07	5	5	5	0,15	0,15	0,15
6. Простота эксплуатации	0,08	5	2	2	0,3	0,12	0,12
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Уровень проникновения на рынок	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
2. Финансирование научной разработки	0,05	4	5	3	0,12	0,15	0,09
3. Послепродажное обслуживание	0,1	5	5	3	0,4	0,4	0,24
4. Наличие сертификации разработки	0,08	5	3	4	0,4	0,24	0,32
5. Конкурентоспособность продукта	0,07	5	4	5	0,15	0,12	0,15
6. Срок выхода на рынок	0,07	5	5	5	0,15	0,15	0,15
Итого	1	4,86	3,62	3,67	0,34	0,25	0,23

В результате проведенного анализа можно сделать вывод, что предлагаемое в данной ВКР решение обладает конкурентоспособностью.

Разработанная технология очень конкурентоспособна. Цена на разработанный метод значительно ниже, чем у конкурентов, и сопоставима с европейскими аналогами. При использовании этой технологии производительность пользователя может быть улучшена. Основным преимуществом данной технологии является обеспечение качества и

сохранности груза на всем пути следования, скорости доставки и современных технологий транспортировки и хранения подвески.

4.1.2 SWOT-анализ

Для исследования внешней и внутренней среды проекта проведен SWOT-анализ, где детально продуманы сильные и слабые стороны научно-технической разработки. На втором этапе проведения SWOT-анализа составлены интерактивные матрицы проекта, в которых осуществлено выполнение анализа соответствия параметров SWOT каждого с каждым. Соотношения параметров представлены в таблицах 4.1.2 - 4.1.5.

Таблица 4.1.2 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	-	-	-	-	-
	B2	-	+	-	-	-
	B3	-	+	-	+	-
	B4	-	+	-	+	-
	B5	+	+	-	-	-

Таблица 4.1.3 – Интерактивная матрица проекта «Возможности проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	B1	-	-	-	+	-
	B2	-	-	-	-	-
	B3	-	-	-	-	-
	B4	-	-	-	-	-
	B5	-	-	-	-	-

Таблица 4.1.4 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и сильные стороны»

Сильные стороны проекта						
		C1	C2	C3	C4	C5

Угрозы проекта	У1	+	+	-	-	-
	У2	-	-	-	-	-

Таблица 4.1.5 – Интерактивная матрица проекта «Угрозы проекта и слабые стороны»

Слабые стороны проекта						
Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4	Сл5
	У1	-	-	-	+	-
	У2	-	+	-	-	-

Результаты выполнения SWOT-анализа представлены в таблице 4.1.6.

Таблица 4.1.6 – Результаты SWOT-анализа

Сильные стороны научно-исследовательского проекта С1. Низкая стоимость исходного сырья С2. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции С3. Взаимосвязи ТПУ с потенциальными заказчиками С4. Экологичность технологии С5. Квалифицированный персонал		Слабые стороны научно-исследовательского проекта Сл1. Отсутствие прототипа научной разработки Сл2. Невысокие объемы производства Сл3. Риск нарушения правил безопасности и возникновения различных непредвиденных ситуаций Сл4. Вероятность получения брака Сл5. Большой срок поставок материала, используемого при проведении научного исследования	
Возможности В1. Использование оборудования ИШНПТ ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Внедрение технологии в производство В4. Участие в грантах В5. Выход на зарубежные рынки	Направления развития В2С2. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции позволит расширить спрос В3С2С4. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции и экологичность технологии являются основанием для внедрения технологии в производство В4С2С4. Высокий уровень физико- и термомеханических свойств продукции и экологичность технологии позволит участвовать в грантах В5С1С2. Низкая стоимость исходного сырья и высокий уровень физико-механических свойств продукции является	Сдерживающие факторы В1Сл4. Новейшее оборудование позволит на ранних стадиях исследование выявить и предотвратить появление брака	

	хорошим основанием для выхода на зарубежные рынки	
Угрозы У1. Появление зарубежных аналогов и более ранний их выход на рынок У2. Разработка новых технологий конкурентами и снижение цен	Угрозы развития У1С1С2. Более ускоренные темпы разработки и производства и поиск технологического решения для ускорения технологического процесса	Уязвимости: У2Сл2. Разработка новых технологий для увеличения объема производства У1Сл4. Введение систем совершенствования производственных процессов для снижения брака

Результаты проведенного SWOT-анализа учтены в процессе дальнейшей разработки структуры работ, которые необходимо выполнить в научно-исследовательском проекте.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование работ предполагало определение структуры работ по проведению научного исследования, определение участников каждого вида работ, установление продолжительности работ, построение графика проведения исследований. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей по выполнению НТР представлены в таблице 4.2.1.

Таблица 4.2.1 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	научный руководитель
	2	Календарное планирование выполнения ВКР	инженер, научный руководитель
Выбор способа решения поставленной задачи	3	Обзор научной литературы	инженер
	4	Выбор методов исследования	инженер
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Планирование эксперимента	инженер, научный руководитель
	6	Проведение эксперимента	инженер
Обобщение и оценка результатов	7	Анализ полученных результатов НИР	инженер
	8	Корректировка расчетов	научный руководитель

Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	9	Оценка эффективности результатов	инженер
	10	Составление пояснительной записки	инженер
	11	Подготовка к защите темы	инженер

4.2.2 Разработка графика проведения научного исследования

Определение трудоемкости выполнения научного исследования проведено экспертным путем в человеко-днях. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ использована следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (1)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни; $t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни; $t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

Исходя из рассчитанной ожидаемой трудоемкости работ, была определена продолжительность каждого этапа работы (в рабочих днях T_p), учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, а также возможность выполнения нескольких видов работ в один временной промежуток. Далее с помощью формулы 2 рассчитана продолжительность одной работы в рабочих днях:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (2)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, рабочие дни; $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице 4.2.2.

Таблица 4.2.2 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожг}$, чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	1,1		2		2,1		2,4	2,9
2. Календарное планирование выполнения ВКР	1,1	1,1	2	2	2,3	1,46	1,46	2
3. Обзор научной литературы		8		10		8,8	8,8	13
4. Выбор методов исследования		8		10		8,8	8,8	13
5. Планирование эксперимента		21		22		21,4	21,4	32
6. Проведение эксперимента		7		12		9	9	14
7. Анализ полученных результатов НИР		3		5		3,8	3,8	6
8. Корректировка расчетов		5		8		6,2	6,2	9
9. Оценка эффективности результатов		7		10		8,2	8,2	12
10. Составление пояснительной записки		7		10		8,2	8,2	12
11. Подготовка к защите темы		8		10		8,8	8,8	13
Итог	2,2	75,1	4	99		84,66	84,66	126

Примечание: Исп. 1 – научный руководитель, Исп. 2 – студент-инженер.

На основе таблицы составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица 4.2.3).

Таблица 4.2.3 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исп	T_{ki} кал. дн.	Продолжительность работ											
				февр			март			апр			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания, утверждение плана-графика	Исп1 Исп2	2,9												
2	Календарное планирование выполнения ВКР	Исп1 Исп2	2												
3	Обзор научной литературы	Исп2	13												
4	Выбор методов исследования	Исп2	13												
5	Планирование эксперимента	Исп2	32												
6	Проведение эксперимента	Исп2	14												
7	Анализ полученных результатов НИР	Исп2	6												
8	Корректировка расчетов	Исп1 Исп1	9												
9	Оценка эффективности результатов	Исп1 Исп2	12												
10	Составление пояснительной записки	Исп2	12												
11	Подготовка к защите темы	Исп2	13												

Примечание: Исп 1 (научный руководитель), – Исп 2 (инженер)

4.2.2 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета научно-технического исследования учитывались все виды расходов, связанных с его выполнением.

Расчет материальных затрат научно-технического исследования

Материальные затраты отражают стоимость приобретенных материалов и сырья, которые входят в состав вырабатываемой продукции, образуя ее основу,

или являются необходимыми компонентами при изготовлении продукции (таблица 4.2.4).

Таблица 4.2.4 – Затраты на получение образца нано-порошок Fe₂O₃

Наименование статей	Кол-во/1 изд	Цена, руб./г	Итого затраты, руб.
нано-порошок Fe ₂ O ₃	5,0г	150	750
Вода дистиллированная ГОСТ 6709-72, л	1	200	200
Маски	1	15	15
Мыло туалетное ГОСТ 28546- 2002 ГОСТ 790-89	1	37	37
Перчатки резиновые, технические ГОСТ 20010-93, пар	1	12	12
Итого:			1024 руб

Расчет амортизации специального оборудования

Расчет амортизации производится на находящееся в использовании оборудование. В итоговую стоимость проекта входят отчисления на амортизацию за время использования оборудования в статье накладных расходов (таблица 4.2.5).

Таблица 4.2.5 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Спектрофотометр PD-303 (Arel, Япония)	1	10	60	60
2	Лазерный анализатор SALD-7101 (Shimadzu, Япония)	1	10	500	500
3	Ультразвуковая ванна ГРАД 28-35 (Grade Technology, Россия, 55 Вт)	1	10	35	35
4	Весы ALC-110d4 Acculab, Россия, точность ±0,0001	1	10	50	50
5	Аквадистиллятор ДЭ-4 ТЗМОИ, Тюмень Медико, Россия	1	10	45	45

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (3)$$

где n – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация:

$$A = \frac{H_A I}{12} \cdot m, \quad (4)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию для осциллографа, с учётом, что срок полезного использования 10 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{10} = 0,1. \quad (5)$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Спектрофотометр:

$$A = \frac{H_A I}{12} \times m = \frac{0,1 \times 60000}{12} \times 4 = 20000 \text{ руб} \quad (6)$$

Лазерный анализатор:

$$A = \frac{H_A I}{12} \times m = \frac{0,1 \times 5000000}{12} \times 4 = 166666 \text{ руб.} \quad (7)$$

Ультразвуковая ванна:

$$A = \frac{H_A I}{12} \times m = \frac{0,1 \times 35000}{12} \times 4 = 1166 \text{ руб.} \quad (8)$$

Весы:

$$A = \frac{H_A I}{12} \times m = \frac{0,1 \times 50000}{12} \times 4 = 16666 \text{ руб.} \quad (9)$$

Аквадистиллятор:

$$A = \frac{H_A I}{12} \times m = \frac{0,1 \times 45000}{12} \times 4 = 1500 \text{ руб.} \quad (10)$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 20000 + 166666 + 1166 + 16666 + 1500 = 205998 \text{ руб}$$

Основная заработная плата исполнителей темы

В данном разделе рассчитывается заработная плата инженера и руководителя, помимо этого необходимо рассчитать расходы по заработной плате, определяемые трудоемкостью проекта и действующей системой оклада.

Основная заработная плата $Z_{осн}$ одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (11)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата, руб.; T_p – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн. (таблица 8).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_o} = \frac{51285 \cdot 10,3}{246} = 2147,3 \text{ руб.}, \quad (12)$$

где Z_m – должностной оклад работника за месяц; F_o – действительный годовой фонд рабочего времени исполнителей, раб.дн.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 28 раб. дня – $M = 11,2$ месяца, 5-дневная рабочая неделя;
- при отпуске в 56 раб. дней – $M = 10,3$ месяца, 6-дневная рабочая неделя.

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя инженера):

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_o} = \frac{33150 \cdot 11,2}{213} = 1743,1 \text{ руб.}. \quad (13)$$

Должностной оклад работника за месяц:

- для руководителя:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{пр} + k_o) k_p = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб.} \quad (14)$$

- для инженера:

$$Z_m = Z_{мс} \cdot (1 + k_{пр} + k_o) k_p = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб.}, \quad (15)$$

где Z_{mc} – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.; k_{np} – премиальный коэффициент, равен 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2; k_p – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 4.2.6 – Баланс рабочего времени исполнителей

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные дни - праздничные дни	52/14	104/14
Потери рабочего времени - отпуск - невыходы по болезни	48/5	24/10
Действительный годовой фонд рабочего времени	246	213

Таблица 4.2.7 – Расчет основной заработной платы исполнителей

Исполнители НИ	$Z_{mc}, \text{руб}$	k_{np}	k_d	k_p	$Z_m, \text{руб}$	$Z_{дн}, \text{руб}$	$T_p, \text{раб.дн.}$	$Z_{осн}, \text{руб}$
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2147,3	9	19325,7
Инженер	17000	0,3	0,2	1,3	33150	1743,1	120	219630,6
Итого:								238956,3

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

– для руководителя:

$$Z_{бон} = K_{бон} \times Z_{осн} = 0,15 \times 19325,7 = 2898,9 \text{ руб.} \quad (16)$$

– для инженера:

$$Z_{бон} = K_{бон} \times Z_{осн} = 0,15 \times 219630,6 = 32944,59 \text{ руб,} \quad (17)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимаем равным 0,15).

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

Отчисления во внебюджетные фонды определяется по формуле:

Для руководителя:

$$Z_{внеб} = K_{внеб} (Z_{осн} + Z_{бон}) = 0,3 \times (19325,7 + 2898,9) = 6667,38. \quad (18)$$

Для инженера:

$$З_{внеб} = K_{внеб}(З_{осн} + З_{бон}) = 0,3 \times (219630,6 + 32944,59) = 76642,2$$

(19)

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

Накладные расходы

Накладными расходами учитываются прочие затраты организации, такие как: печать и ксерокопирование проектировочных документов, оплата услуг связи.

$k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента принимается равной 0,2.

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется бюджет НИ «Дисперсионные и седиментационные свойства наночастиц в гидрозоле» по форме, приведенной в таблице 4.2.8.

Таблица 4.2.8 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
205998	1024	238956,3	35843,45	82439,92	564261,67	112852,33	677069

4.3 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Для определения эффективности исследования рассчитан интегральный показатель эффективности научного исследования путем определения интегрального показателя ресурсоэффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов выполнения НТР (I_{pi}) определен путем сравнительной оценки их характеристик, распределенных с учетом весового коэффициента каждого параметра (таблица 4.3.1).

Таблица 4.3.1 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НТР

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Вар.1	Вар.2	Вар.3
1. Ремонтопригодность	0,1	3/0,3	4/0,4	5/0,5
2. Стабильность работы	0,1	3/0,3	4/0,4	4/0,4
3. Долговечность	0,15	3/0,45	3/0,45	5/0,75
4. Безопасность при использовании установки	0,20	5/1	5/1	5/1
5. Помехоустойчивость	0,15	3/0,15	4/0,6	4/0,6
6. Потребность в ресурсах памяти	0,15	4/0,6	3/0,45	4/0,6
7. Простота эксплуатации	0,15	5/0,75	4/0,6	5/0,75
ИТОГО	1	26/3,55	27/3,9	32/4,6

$$I_{p-вар1} = 3,55; I_{p-вар2} = 3,9; I_{p-вар3} = 4,6.$$

На основании полученных интегрального финансового показателя и интегрального показателя ресурсоэффективности был рассчитан интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{вари}$) по формуле:

$$I_{вари} = \frac{I_{p-вари}}{I_{финр}}. \quad (22)$$

$$I_{вар1} = \frac{3,55}{1} = 3,55, I_{вар2} = \frac{3,9}{0,99} = 3,93, I_{вар3} = \frac{4,6}{0,92} = 5.$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НТР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 4.3.2).

Таблица 4.3.2 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3
1	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,55	3,9	4,6

2	Интегральный показатель эффективности	3,55	3,93	5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	$\text{Вар.1/Вар.2} = 0,91$ $\text{Вар. 1/Вар. 3} = 0,77$	$\text{Вар. 2/Вар. 1} = 1,08$ $\text{Вар. 2/Вар. 3} = 0,84$	$\text{Вар. 3/Вар. 1} = 1,3$ $\text{Вар. 3/Вар. 2} = 1,2$

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 3 (данная разработка), т. к. показатель его сравнительной эффективности по отношению к каждому из сравниваемых вариантов больше 1.

4.4. Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации НТР как наиболее предпочтительного и рационального по сравнению с остальными.

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и инженера, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество календарных дней для выполнения работы – 126 дней; общее количество календарных дней, в течение которых работал инженер, – 120; общее количество календарных дней, в течение которых работал руководитель, – 9;

3. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 677069 рублей;

4. По факту оценки эффективности ИР, можно сделать выводы:

1) значение интегрального показателя ресурсоэффективности ИР составляет 4,6, по сравнению с 3,55 и 3,9;

2) значение интегрального показателя эффективности ИР составляет 5, по сравнению с 3,55 и 3,93, и является наиболее высоким, что означает, что

техническое решение, рассматриваемое в ИР, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

ГЛАВА 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Научная деятельность осуществляется в лаборатории кафедры нанотехнологий и наноматериалов Томского Политехнического университета. Лаборатория находится на втором этаже корпуса номер 15 ТПУ. Общая площадь помещения лаборатории составляет 12 м² с размерами 3х4х3. Пол покрыт ламинатом, на стенах находится кафель, потолок побелен влагоустойчивой водоземulsionкой, которая не содержит токсинов, представляющих угрозу для здоровья и жизни человека. В лаборатории есть 2 окна, через которое пропускается естественное освещение. А также используется искусственное освещение, в качестве двух ламп на потолке лаборатории.

В лаборатории ТПУ находится следующее оборудование: лазерный анализатор частиц SALD-7101, Shimadzu, Япония; рабочий стол с компьютером; магнитная мешалка MS-3000 Biosan, Латвия; ультразвуковая ванна ГРАД 28-35, Россия -30 мин, Мощность генератора, 110 Вт; 1 вытяжной шкаф; 2 шкафа для хранения лабораторной посуды; 1 шкаф для хранения химикатов; 2 рабочих стола; 1 раковина.

В ходе исследований была разработана метод ведения работ в лаборатории. Для определения массы навески 0,20 г нано-порошка Fe₂O₃ проводили взвешивание на аналитических весах Acculab ALC-210D4, Германия. Для определения дисперсионного состава нано-порошка Fe₂O₃ с помощью метода лазерной дифракции готовили суспензии на основе дистиллированной воды. Затем суспензию помещали в ультразвуковую ванну на 5, 15 и 30 минут и после заливали в лазерный анализатор частиц SALD-7101, Shimadzu, Япония для получения распределения частиц по размерам.

5.1 Анализ выявленных вредных факторов

Вредностью являются факторы, негативно влияющие на здоровье и жизнь человека в процессе ведения какой-либо деятельности в условиях производства. При соблюдении норм безопасности при работе сотрудников в производстве или лаборатории происходит повышение эффективности труда, повышение выполнения показателей трудовой деятельности и увеличение прибыли [53].

Существует три вредных фактора производственного риска [54], которые могут привести к ухудшению состояния здоровья, увеличению заболеваемости, различным травмам и снижению работоспособности работников: биологические; физические; химические.

При выполнении эксперимента в лаборатории, в основном попадают в рабочую зону вредные примеси (нано-порошок Fe_2O_3 и пары азотной, серной и соляной кислот). Для контроля вредных примесей, необходимо соблюдать предельно допустимые концентрации ПДК, описанные в ГОСТе 12.1.005-88 [55]. Данные по контролю ПДК попадающих вредных веществ в лаборатории описаны в таблице 5.1.

Оксид алюминия имеет большое применение в промышленности и поэтому создается масса лабораторий по производству данного типа нано-порошка. Каждый день при работе с нано-порошком операторы сталкиваются с прямым попаданием наночастиц в организм.

Наночастицы Fe_2O_3 приводят к целому спектру ответов тканей в организме. Попадание наночастиц может привести к летальному исходу, генерации активных форм кислорода, а также к воспалительным процессам внутренних органов. Если частицы вдохнуть, при естественном процессе диффузии они могут попасть во все отделы дыхательной системы человека.

Таблица 5.1 – Предельно допустимые концентрации в воздухе рабочей зоны по ГОСТу 12.1.005-88 [55]

Название вещества	Величина ПДК, мг/м ³	Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства	Класс опасности	Особенности действия на организм
Fe ₂ O ₃	6	A*	4	Ф*
Азотная кислота	2	A	3	-
Серная кислота	1	A	2	-
Соляная кислота	5	A	2	-
А-аэрозоль				
Ф-аэрозоли. преимущественно фиброгенного действия				

Как все мы знаем, чем меньше размер частиц (10 нм), тем легче попасть в потенциально чувствительные системы, такие как лимфатические узлы, сердце и костный мозг. В случае нарушения правил безопасности при использовании нано-порошков наночастицы попадут в желудочно-кишечный тракт. Наиболее распространенный тип приема наночастиц через кожу. В частности, необходимо тщательно закрыть поврежденные участки кожи и изгибы. В качестве средств индивидуальной защиты необходимо использовать одноразовые перчатки для защиты рук, которые следует заменять каждые 3 часа. Для защиты органов дыхания и других систем следует использовать RPDS общего назначения и защищенные от пыли. Фильтр может очищать вдыхаемый воздух от наночастиц и других вредных примесей. Концентрация этих примесей не превышает максимально допустимую концентрацию (ПДК) ГОСТ Р 12.4.233-2012 [56] и ГОСТ 17269-71 [57].

Наночастицы, попадающие в воздух во время работы, склонны к агломерации. После агрегации наночастиц их размер увеличится, и они могут попасть на кожу, одежду и оборудование. Чтобы наночастицы не

попали на кожу и одежду, вы должны носить пижаму или одежду, специально предназначенную для лабораторного использования.

5.1.1 Микроклимат производственной среды

Микроклимат производственной среды включает влажность воздуха, оптимальную температуру и интенсивность теплового излучения. Все факторы микроклимата оказывают большое влияние на персонал, его здоровье и работоспособность. Поэтому, согласно ГОСТ 12.1.005-88 [55] (Таблица 5.2), необходимо соблюдать оптимальный и допустимый микроклимат студии. Работа лабораторного персонала классифицируется как легкая промышленность Ib.

Таблица 5.2 – Требования к микроклимату лаборатории согласно ГОСТу 12.1.005-88 [55].

Период года	Температура, °C	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Теплый	22 - 24	40 - 60	0,1
Холодный	21 - 23	40 - 60	0,1

Помещение и его размеры (площадь, объем) должны сначала соответствовать количеству рабочих и оборудованию, находящемуся в нем.

Чтобы обеспечить нормальные условия труда, гигиенический стандарт SanPiN 2.2.1 / 2.1.1.1031-01 [6] предусматривает, что каждый рабочий должен занимать площадь пола 4,5 м² и объем воздуха 20 м³.

Помещение лаборатории имеет следующие параметры: длина помещения – 4 м; ширина – 3 м; высота – 3 м.

Согласно с этим параметрам площадь помещения составляет 12 м², а объем $V = 36 \text{ м}^3$.

В лаборатории 2 сотрудника. Это означает, что у каждого есть рабочая площадь 6 м² и объем воздуха 18 м³. Познакомьтесь со стандартами здоровья.

5.1.2 Анализ выявленных опасных факторов

Опасность механического повреждения. Риск получения травмы в случае контакта предметов или их частей с людьми. В этой лаборатории ни один объект не представляет механической опасности. Высокотемпературные объекты, кипящие жидкости могут вызвать тепловые опасности, приводящие к термическим ожогам. В этой лаборатории никакие объекты не представляют термическую опасность.

Электробезопасность - это система организационных и технических мер, которая означает защиту людей от вредного воздействия тока, дуг, электромагнитных полей и статического электричества.

Чаще всего встречаются электротравмы: прикосновение к проводам, которые находятся под напряжением. Причинами данного типа травм являются: неисправность приборов и электропроводки; неосторожность, неопытность работника; присутствие детей в лаборатории, их неопытность и недисциплинированность; повреждение изоляции провода.

Открытая металлическая поверхность и токовая оболочка повреждены из-за изоляции. В каждом из электроустановок должно иметься средство защиты – заземление. Поэтому в лаборатории все электрические приборы с металлическими корпусами строго установлены на полу. Пол лаборатории покрыт непроводящим токомматериалом, а деревянный материал - ламинатом.

Пожаро-взрывобезопасность класса В2. Опасность взрыва считается металлическим нанопорошком. Поскольку они имеют очень большую удельную поверхность в нанометровом состоянии, это делает их взрывоопасными. Однако при производстве нанопорошков никеля поверхность частиц пассивируется (покрывается оксидной пленкой), что предотвращает самовозгорание порошка при контакте с воздухом. Основными средствами пожаротушения являются огнетушители. Лаборатория оснащена 5-литровым ручным порошковым огнетушителем ОП.

В лаборатории работники должны включить вентиляционное оборудование. Для обеспечения безопасности следует использовать газоанализатор для проверки помещения на наличие вредных смесей и газов в воздухе.

5.1.3 Анализ показателей шума

Источником шума на месте является в основном звук, вызванный производственной деятельностью экспериментального оборудования. Воздействие шума на людей зависит от воздействия на органы слухового аппарата.

Помимо негативного воздействия на органы слуха, шум также наносит вред другим органам и тканям организма. Особенно для разрушение центральной нервной системы. В течение долгого времени в шумной обстановке у людей будут неврологические нарушения слуха, сопровождающиеся раздражительностью, потерей памяти, апатией, плохим настроением, изменениями чувствительности кожи и другими заболеваниями, особенно медленным психическим ответом и нарушением сна.

ГОСТ 12.1.003-83 устанавливает уровень звукового давления и эквивалентные уровни звука на рабочем месте компаний-производителей в диапазоне частот 31,5-8000 зависит от тяжести и интенсивности труда уровень звука герц и эквивалентный уровень звука на рабочем месте производственное оборудование -80дБА. Непрерывный шум > 85дБА. Согласно нормативным документам СН 2.2.4 / 2.1.8.562-96 и ГОСТ 12.1.003-83, вызывая непрерывный рост порога слуха, профессиональные заболевания (глухота, потеря слуха) для увеличения крови стресс, чтобы уменьшить скорость реакции и внимание. Основной метод снижения шума: уменьшение источника шума; использование устройства для изоляции источника шума; и носить противозумные наушники.

5.1.4 Анализ освещенности рабочей зоны

В лаборатории используется искусственное и естественное освещение. Поскольку работа в основном визуальная, естественного освещения недостаточно, особенно в темноте.

Правильно спроектированное и выполненное освещение может обеспечить высокий уровень производительности, оказать положительное психологическое воздействие на людей и помочь повысить производительность труда. Это следует учитывать при выборе типа ламп, требований к освещению, экономических показателей и условий окружающей среды.

В помещениях люминесцентные лампы типа ОД используются в качестве источников света для искусственного освещения. Лампы наружного освещения (двусторонние лампы с открытым цоколем) предназначены для помещений с хорошей отражающей способностью потолка и стен, а также допускают умеренную влажность и пыль. В соответствии с гигиеническими требованиями на рабочем месте следует использовать естественное и искусственное освещение. Лаборант продолжал работать на ПК и улучшил зрение. В соответствии со стандартом освещения и отраслевым стандартом для внутреннего освещения при использовании с ПК, рекомендуется использовать от 300 люкс до 500 люкс для общего освещения.

Помещение имеет размеры: a – длина помещения – 3 м; b – ширина – 3 м; h – высота – 3 м.

Рекомендуемое комнатное освещение - $E = 300$ люкс со средней разницей на темном фоне. $q_n = 70$, $q_c = 50$, $q_z = 10$, где q_n – коэффициент отражения светового потока от потолка; q_c – коэффициент отражения светового потока от стен.

$$H = n - n_n - n_c = 3 - 0,9 - 0,1 = 2\text{м}$$

где $h_{\text{п}}$ - высота рабочей поверхности; $h_{\text{с}}$ - расстояние светильников от перекрытия.

Для освещения используется светильник типа ОД мощностью 40 Вт, а оптимальное расположение светильника составляет $\lambda = 1,5$. Расчетная длина между двумя рядами светильников: $L = \lambda \cdot h = 1,5 \cdot 2 = 3 \text{ м}$.

Число рядов светильников: $n = b/L = 3/3 = 1$, где b – ширина помещения. Выбирал $n=1$ ряда светильников. Тогда индекс освещения:

$$i = \frac{S}{(A+B) \times n} = \frac{9}{(3 \times 3) \times 1} = 1.$$

Зная коэффициент отражения световых лучей в потолке, стенах и полах в лаборатории, вы можете определить коэффициент использования световых лучей:

$$\eta = \frac{q_{\text{п}} + q_{\text{с}} + q_{\text{з}}}{3} = \frac{70\% + 50\% + 10\%}{3} = 43,33\%.$$

Световой поток лампы ЛБ составляет $F_0 = 2480 \text{ лм}$. Тогда световой поток светильника ОД, состоящего из двух ламп: $F = 2 \cdot F_0 = 2 \cdot 2480 = 4960 \text{ лм}$.

Определим необходимое число светильников в ряду:

$$N = \frac{E \times S \times Z \times K}{n \times F \times \eta \times \gamma} = \frac{300 \cdot 9 \cdot 1.15 \cdot 1.5}{2 \cdot 4960 \cdot 0.43 \cdot 1} = 1.09 \approx 1$$

где $Z=1,15$ -коэффициент неравномерности освещения; $K=1,5$ – коэффициент запаса; $\gamma=1$ – коэффициент затемнения.

При длине светильника $l_{\text{св}}=0,933 \text{ м}$, их общая длина составляет:

$$l_{\text{общ}} = N \cdot l_{\text{св}} = 1 \cdot 0.933 = 0.933 \text{ м}$$

Расстояние между светильниками:

$$l = \frac{A - l_{\text{общ}}}{N + 1} = \frac{3 - 0.933}{1 + 1} = 1.0335 \text{ м}$$

Поэтому, в лаборатории необходимо установить три светильника в один ряд (рис.5.1)

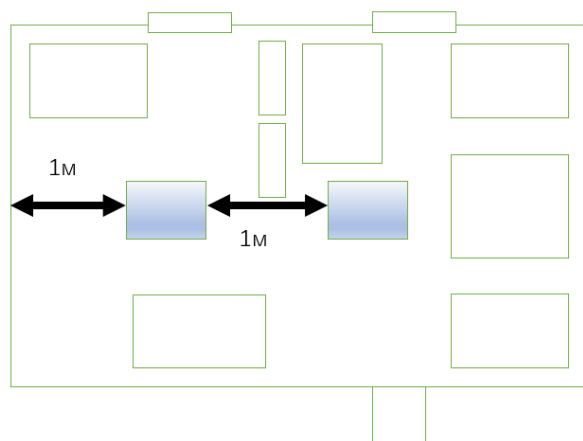


Рисунок. 5.1. План размещения светильников

5.2 Охрана окружающей среды

Лаборатория находится на территории Томского политехнического университета корпуса номер 15. На расстоянии 300 м от корпуса, в котором находится лаборатория, расположен корпус ТПУ номер 10 и на расстоянии 500 метров размещены ближайшие жилые дома.

При попадании наночастиц в воздух они образуют стабильные золи, поэтому во избежание этого необходимо устанавливать специальные фильтры для очистки воздуха по ГОСТу Р51251-99 [58]. Используйте грубые фильтры (5-10 мкм) и фильтры тонкой очистки (0,3-5 мкм).

Двери с высокой степенью герметизации были установлены в лаборатории для предотвращения попадания наночастиц в лабораторию. Рабочая одежда размещается в специально отведенных шкафах.

Используемые в лаборатории реагенты и нано-порошки не превышали максимально допустимую концентрацию в воздухе.

После эксперимента отходы образовались и должны быть выброшены в специально отведенные контейнеры или мешки. Когда наночастицы попадают в канализацию, они могут оказывать вредное воздействие на микроорганизмы (крупные блохи), пресноводных организмов и млекопитающих, которые являются важной частью жизненной цепи. В Европе и США были проведены исследования для

изучения влияния наночастиц TiO_2 на поверхностные воды в концентрации 0,275 мл / л. Автор этой работы собрал данные об экотоксичности из 44 научных публикаций и определил концентрацию TiO_2 , которая отрицательно влияет на живые организмы, но для живых организмов средняя смертельная концентрация TiO_2 является нестабильной, и в большинстве случаев летальная концентрация ниже заданного значения [59].

После приема внутрь наночастицы имеют более длительный период разложения и удаления. Прием внутрь или удаление наночастиц может длиться десятилетиями. Многие металлические частицы вступают в реакцию с микроэлементами в почве и образуют вредные для организма вещества. [60].

Наблюдается замедленный рост растений [61].

Для контроля попадания предельно допустимых концентраций наночастиц в литосферу, существует нормативный документ ГН 2.1.7.2014-06 [63].

5.2.1 Защита в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация, это сочетание опасных событий или событий, которые угрожают безопасности.

- 1) Внешние технические продукты, вода, стихийные бедствия, данные о сбое питания и т. д.;
- 2) внутренняя техническая сложность, недостаточная квалификация персонала, структурные дефекты, физический и моральный износ оборудования, снижение трудовой и технической дисциплины и т. д.

Наиболее вероятная техническая авария в лаборатории - пожар

В лаборатории наиболее вероятно возникновение технической аварийной ситуации (ЧС). Если в лаборатории возникает чрезвычайная ситуация, необходимо принять следующие меры. Необходимо использовать защитные средства для эвакуации персонала приюта,

обеспечить людей средствами индивидуальной защиты и организовать медицинскую помощь пострадавшим.

5.2.2 Анализ электробезопасности

Наибольшую опасность при эксплуатации электрооборудования, а также при проведении ремонтных и профилактических работ представляет электрический удар, вызванный токоведущими частями и соединениями с токоведущими частями оборудования.

В соответствии с условиями поражения электрическим током, опасность поражения электрическим током отсутствует. Лаборатория относится к категории повышенной опасности.

Причина, поражения электрическим током должна быть устранена.

Меры, принятые для устранения факторов поражения электрическим током:

а) Под руководством всего персонала, который начинает использовать электрооборудование на рабочем месте, они могут работать самостоятельно только после проверки знаний техники безопасности;

б) постоянно контролировать качество и ремонтпригодность защитных устройств и заземления, и использовать только защитные устройства для ремонта и регулировки существующих электрических устройств;

с) Эксплуатация электроустановок включает в себя введение необходимых технических документов, гарантирующих невозможность прикосновения к токоведущим частям, а также заземление оборудования и электрооборудования.

5.2.3 Анализ пожарной безопасности

Лаборатория, занимающаяся этой работой, относится к категории пожароопасности категории В2. Для тушения пожара лаборатория должна принять следующие меры: - огнетушители жидкие ОХП-10, ОВП-10, рабочее расстояние 6-8 м; - использовать песок для обесточивания горящих проводов на

горизонтальной поверхности; - щит из асбеста используется для тушения пожара. Жидкость, проволока, горящая одежда. При тушении напряжением существует риск поражения электрическим током, поэтому в зданиях, где должен быть потушен пожар, необходимо отключить питание.

При работе в лаборатории не производится обработка (включая транспортировку и хранение) веществ, которые образуют взрывоопасную атмосферу. Соблюдая все меры предосторожности, можно избежать несчастных случаев и травм. Для предотвращения пожара или взрыва необходимо: - уменьшить вероятность возникновения искр и чрезмерного перегрева, вызванного легковоспламеняющимися веществами, -произвести постоянный и эффективный воздухообмен (режим вентиляции). Обучение технике безопасности является одним из средств обеспечения безопасности труда. Брифинг включает в себя обучение работников технике безопасности и методам работы. План побега показан на рисунке. 5.1.

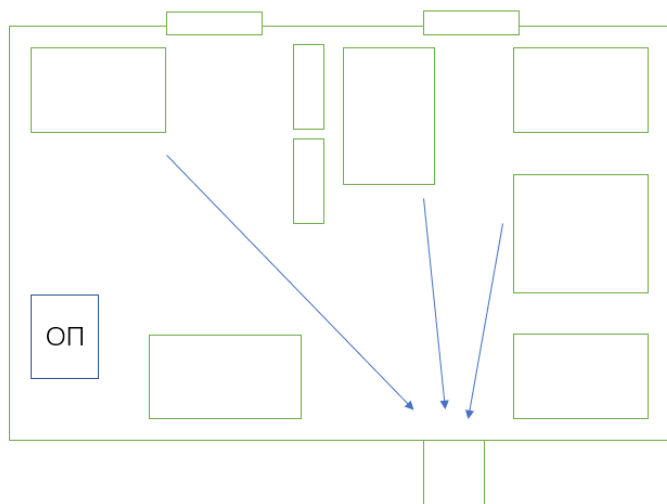


Рисунок 5.2. План эвакуации из химической лаборатории (УЖФ): ОП – огнетушитель переносной;

5.3 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Промышленные нанопорошки все чаще используются в различных отраслях промышленности. Поэтому для обеспечения безопасности при

использовании наноматериалов во всем мире быстро внедряются нормативные рамки.

По постановлению от 23.07.2007 № 54 «О надзоре за продукцией, полученной с использованием нанотехнологий и содержащей наноматериалы», где использование наноматериалов носит негативное воздействие на организм человека и окружающую среду.

В настоящее время на основе исследований, производства и утилизации наноматериалов в Российской Федерации создается большое количество нормативных проектов. Были сформированы мероприятия по оценке токсикологии и гигиенической безопасности наноматериалов [63]. Был определен состав наноматериалов, представляющих потенциальную опасность для здоровья человека: [64]. Была также разработана биомедицинская оценка безопасности наноматериалов и разработаны процедуры отбора проб для выявления, идентификации и характеристики воздействия наноматериалов на организмы [65].

5.4 Выводы по разделу

После проведения научной деятельности мы должны обращать внимание на вредные факторы, такие как шум, вредные вещества и огонь, которые могут угрожать физическому и психическому здоровью людей, загрязнять окружающую среду и даже вызывать серьезные потери имущества. Мы должны быть полностью готовы предотвратить следующее:

1. Для микроклимата мы должны контролировать влажность, температуру и скорость воздуха в помещении.
2. Для шума, мы должны заранее подготовить звукоизоляционные инструменты.
3. В случае недостаточного освещения необходимо подготовить достаточное количество света для соответствия стандартной яркости.

4. При возникновении пожара противопожарное оборудование должно быть подготовлено без эвакуационных препятствий, а персонал должен регулярно обучаться навыкам пожарной безопасности.

5. В целях экологической безопасности с вредными веществами следует обращаться надлежащим образом, чтобы предотвратить загрязнение и сэкономить энергию.

6. СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СТУДЕНТА

1. Чжао Ч. Влияние времени ультразвуковой обработки на агрегацию частиц в водной суспензии // Труды X Всероссийской научно-практической конференции "Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов", 22-24 апреля 2020 г., г.Томск: Изд-во ТПУ, 2020. - В печати

7. СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Babes L., Denizot B., Tanguy G., Le Jeune J.J., Jallet P., Synthesis of iron oxide nanoparticles used as MRI contrast agents: a parametric study // *Journal of Colloid Interface Science*. – 1999. – P.474-482.
2. Lawaczeck R., Menzel M., Pietsch H., Superparamagnetic iron oxide particles: contrast media for magnetic resonance imaging // *Applied Organometallic Chemistry*. – 2004. – 18. – P. 506-513.
3. Benyettou F., Lalatonne Y., Chebbi I., Benedetto M.D., Serfaty J.-M., M. Lecouvey., A multimodal magnetic resonance imaging nanoplatform for cancer theranostics // *Physical Chemistry Chemical Physics*. –2011. – 13 – № 10020.
4. Sheykhbaglou R., Sedghi M., Shishevan M. T., & Sharifi R. S., Effects of nano-iron oxide particles on agronomic traits of soybean // *Notulae Scientia Biologicae*. – 2010. – 2 –P. 112–113
5. Ebrahiminezhad A., Rasoul Amini S., Kouhpayeh A., Davaran S., Barar J., Ghasemi Y., Impacts of amine functionalized iron oxide nanoparticles on HepG2 cell line // *Current Nanoscience*. – 2015. – 11– P.113-119.
6. Estrada-Monje A., Zitzumbo-Guzman R., Banuelos-Díaz JA., Zaragoza-Contreras E A., Ultrasonic dispersion and activation of TiO₂ nanoparticles and its effect on bacterial inhibition in EVA films // *Materials Chemistry and Physics*. – 2019. – 235 – 121760
7. von der Kammer F., Ottofuelling S., Hofmann T. Assessment of the physico-chemical behavior of titanium dioxide nanoparticles in aquatic environments using multi-dimensional parameter testing // *Environmental Pollution*. – 2010. – P. 3472-3481.
8. Lechner M.D., Machtle W. Characterization of nanoparticles // *Macromol Symp*. – 1999. – 145 – P.1-7.
9. Maeda H. SMANCS and polymer-conjugated macromolecular drugs: advantages in cancer chemotherapy // *Advanced Drug Delivery Reviews*. – 2001. – 46. – P. 169-185.

10. Nalwa H.S. Handbook of nanostructured materials and nanotechnology. // Academic, New York. – 1999-
11. Cheng FY, CH Su, YS Yang, CS Yeh, CY Tsai, CL Wu Characterization of aqueous dispersions of Fe₃O₄ nanoparticles and their biomedical applications // Biomaterials. – 2005. – 26(7). – P.729-738.
12. Harris P.J.F. Carbon nanotube composites // International Materials Reviews. – 2013. – 18. – P.31-43
13. ACS Publications/Synthesis and Study of Silver Nanoparticles// J. Chem. Educ. 2007. – 84.- 2
14. Tuncel D., Demir H.V. Conjugated polymernanoparticles // Nanoscale Conjugated polymer nanoparticles. – 2010. – 2. – P. 484-494
15. Forsyth J B, G Hedley and Johnso C E, The magnetic structure and hyperfine field of goethite (α -FeOOH)_n // Journal of Physics C: Solid State Physics. – 1968
16. Majewski P., B. Thierry, Microscopic mechanisms influencing the volume amplified magnetic nanobead detection assay // Critical Reviews in Solid State and Material Sciences. – 2007. – 32 (3-4). – P. 203-215
17. Sugimoto T., E. Matijevic, Formation of uniform spherical magnetite particles by crystallization from ferrous hydroxide gels // Journal of Colloid and Interface Science. – (1980). – 74 (1). – pp. 227-243
18. Jolivet J.-P., Tronc E. Iron oxides: From molecular clusters to solid. A nice example of chemical versatility // Journal of Colloid and Interface Science. (1988). – 25 (2). – P. 688-701
19. Kim D.K., Zhang Y., Voit W., Rao K.V., M. Muhammed, Synthesis and characterization of surfactant-coated superparamagnetic monodispersed iron oxide nanoparticles // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2001. – 225. – P.30-36
20. Khalafalla S.E., Reimers G.W. Preparation of dilution-stable aqueous magnetic fluids // IEEE Transactions on Magnetism. – (1980). – 16 (2). – P. 178-183

21. A. Wooding, M. Kilner, D.B. Lambrick, Studies of the double surfactant layer stabilization of water-based magnetic fluids // *Journal of Colloid and Interface Science*. – (1991). – 144 (1). – P. 236-242
22. Berardi G. Multitasking $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{Cu}@\text{Au}$ and $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ nanoparticles for biomedical applications // PhD School in Chemical Sciences. – 2018. Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/188830152.pdf>.
23. Lam U.T., Mammucari R., Suzuki K., Foster N.R. Processing of Iron Oxide Nanoparticles by Supercritical Fluids // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – (2008). – 47 (3). – P. 599-614.
24. Tavakoli A. Sohrabi, M., Kargari A. A review of methods for synthesis of nanostructured metals with emphasis on iron compounds // *Chemical Papers*. – (2007). – 61 (3). – P. 151-170
25. Popovici M., Gich M., Roig A., Casas L., Molins E., Savii C., Becherescu D., Sort J., Surinach S., Munoz J.S., Baro M.D., Nogues J. Ultraporous single phase iron oxide-silica nanostructured aerogels from ferrous precursors // *American Chemical Society*. – (2004). – 20 (4). – P. 1425-1429.
26. Hao Y.L., A.S. Teja, Continuous hydrothermal crystallization of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ and Co_3O_4 nanoparticles // *Journal of Materials Research*. – (2003). – 18 (2). – P. 415-422.
27. C. Burda, X. Chen, R. Narayanan, M.A. El-Sayed, Chemistry and Properties of Nanocrystals of Different Shapes // *Chemical Reviews*. – (2005). – 105 (4). – pp. 1025-1102
28. K. Sue, K. Kimura, K. Arai Hydrothermal, synthesis of ZnO nanocrystals using microreactor // *Materials Letters*. – (2004). 58 (25). – pp. 3229-3231
29. D.W. Matson, J.C. Linehan, J.G. Darab, M.F., Nanophase Iron-based liquefaction catalysts: synthesis, characterization, and model compound reactivity // *Buehler Energy & Fuels*. (1994). – 8 (1). – pp. 10-18
30. C. Xu. S. Teja, Supercritical water synthesis and deposition of iron oxide ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) nanoparticles in activated carbon // *Journal of Supercritical Fluids*. – (2006). – 39 (1) – pp. 135-141

31. J. Darab, D. Matson, Continuous hydrothermal processing of nano-crystalline particulates for chemical-mechanical planarization // *Journal of Electronic Materials*. – (1998). 27 (10). – pp. 1068-1072
32. U.T. Lam, R. Mammucari, K. Suzuki, N.R. Foster, Processing of Iron Oxide Nanoparticles by Supercritical Fluids // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – (2008). – 47 (3) – pp. 599-614
33. Qi Wang, Ming Shen, Tao Zhao, Yuanyuan Xu, Jiang Lin, Yourong Duan, Low toxicity and long circulation time of Polyampholyte-coated magnetic nanoparticles for blood pool contrast agents // *SCIENTIFIC REPORTS*. – 2015. – 5. – P. 7774.
34. F. Benyettou, Y. Lalatonne, I. Chebbi, M.D. Benedetto, J.-M. Serfaty, M. Lecouvey, A multimodal magnetic resonance imaging nanoplatform for cancer theranostics // *Phys Chem Chem Phys*. – 2011. – 13. – p. 10020
35. T. Neuberger, B. Schopf, H. Hofmann, M. Hofmann, B. von Rechenberg, Superparamagnetic nanoparticles for biomedical applications: Possibilities and limitations of a new drug delivery system // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. – 2005. – 293 (1) – pp. 483-496
36. Attarad Ali, Hira Zafar, Muhammad Zia, Ihsan ul Haq, Abdul Rehman Phull, characterization, applications, and challenges of iron oxide nanoparticles // *Nanotechnology Science and Applications Synthesis*. – 2016. – 9. – P. 49–67.
37. H. Gaedcke G. Buxbaum, *Industrial Inorganic Pigments* // VCH, Weinheim. – 1998). – pp. 224-228
38. R.M. Cornell, U. Schwertmann, *The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses* (second ed.) // Wiley-VCH, Weinheim. –2003
39. Ittrich H, Peldschus K, Raabe N etal. Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles in Biomedicine: Applications and Developments in Diagnostics and Therapy. *Fortschr Röntgenstr* // Thieme. – 2013. – 185. – P. 1149–1166
40. Peter A.Jarzyna Torjus Skajaa Anita Gianella, Iron oxide core oil-in-water emulsions as a multifunctional nanoparticle platform for tumor targeting and imaging // *Biomaterials*. – 2009. – 30(36). – P. 6947-6954

41. Bernhard Schöpf, Heinrich Hofmann, Tobias Neuberger, Superparamagnetic nanoparticles for biomedical applications: Possibilities and limitations of a new drug delivery system, // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2005. – 1. – P. 483-496
42. Mohammad T.H., Nutanndra K. Reddy, Pharmaceutical Suspensions // General Principles of Suspensions. – 2009. – P.39-65.
43. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии. – М.: Химия. – 1975. – 512 с.
44. Хрусталеv В. В., Контява О. В., Казюлевич С. Р. Физическая химия реальных и коллоидных растворов практикум. – Минск: БГМУ. – 2018. – 138 с.
45. Годымчук А.Ю., Савельев Г.Г., Зыкова А.П. Экология наноматериалов. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. – 2012. – 272 с] [Natalia Maximova Olli Dahl, Environmental implications of aggregation phenomena: Current understanding // Current Opinion in Colloid & Interface Science. – 2006. – 11 – 4. – P. 246-266
46. Fangyuan Liu, Chunpeng Zhang, Tianrui Zhao, Yilin Zu, Effects of phosphate on the dispersion stability and coagulation // Chemosphere. – 2019. – 221. – p 580-587
47. Francesco Sciortino., Emanuela Zaccarelli, Reversible gels of patchy particles // Current Opinion in Solid State and Materials Science. – 2011. – 15(6). – P 246-253
48. R. D. Handy, Frank von der Kammer, Jamie R Lead, Martin Hassellöv, Richard Owen, Mark Crane., The ecotoxicology and chemistry of manufactured nanoparticles // Ecotoxicology. – 2008. – 17. – P. 287–314
49. Xue J., Herbolzheimer E, Rutgers M.A, Diffusion, dispersion and settling of hard spheres // Physical Review Letters. – 1992. – 69. – P. 1715-1718
50. Sharifalhoseini Z., Entezari M.H., Direct and indirect sonication affect differently the microstructure and the morphology of ZnO nanoparticles: Optical behavior and its antibacterial activity // Ultrasonics Sonochemistry. – 2015. – 27. – P. 466-473
51. Yu H., Hermann S., Schulz S.E., Optimizing sonication parameters for dispersion of single-walled carbon nanotubes // Chemical Physics. – 2012. – 48 – 26. – P. 11-16

52. Sharifalhoseini Z., Entezari M. H., Direct and indirect sonication affect differently the microstructure and the morphology of ZnO nanoparticles: Optical behavior and its antibacterial activity // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2015. – 27. – P. 466-473
53. Агошков А. И., Трегубенко А. Ю., Вершкова Т. И. Медико- биологические основы безопасности жизнедеятельности: учебное пособие // Дальневосточный федеральный университет (ДВФУ). – Москва. – 2015. – 157 с.
54. ГОСТ 12.0.003-74. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. – М: ИПК Издательство стандартов. – 2004. – 2 с.
55. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М.: Стандартиформ. – 2008. – 48 с.
56. ГОСТ Р 12.4.233-2012. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Термины, определения и обозначения. – М.: Стандартиформ. – 2014. – 15 с.
57. ГОСТ 17269-71. Респираторы, фильтрующие газопылезащитные РУ- 60м и РУ-60му. Технические условия. – М.: Стандартиформ. – 2005. – 11с.
58. ГОСТ Р 51251-99. Фильтры очистки воздуха. Классификация. Маркировка. – М.: ИПК Издательство стандартов, – 2002. – 6 с.
59. Haulik B., Balla S., Pálfi O., Szekeres I., Juríková T., Sály P., Bakonyi G.
60. Comparative ecotoxicity of the nano Ag, TiO₂ AND ZnO TO aquatic species assemblages // *Applied Ecology and Environmental Research*. – 2014. – 13(2). – 325- 338.
61. Анциферова И. В. Источники поступления наночастиц и их влияние на окружающую среду и человека // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. – 2012. – № 7. – С. 5-10.
62. Ruffini C. M., Giorgetti L. The effects of nano-TiO₂ on seed germination, development and mitosis of root tip cells of *Vicia narbonensis* L. and *Zea mays* L // *Journal of Nanoparticle Research*. – 2010. – 10. – P. 24-30.

63. ГОСТ 12.4.009-83. ССБТ. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание. – М.: ИПК Издательство стандартов. – 2001. – 4 с.
64. МУ 1.2.2520-09. Токсиколого-гигиеническая оценка безопасности наноматериалов. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. – 2009. – 35 с.
65. МР 1.2.2522-09. Методические рекомендации по выявлению наноматериалов, представляющих потенциальную опасность для здоровья человека. – М.: Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. – 2009. – 4 с.